

Das Melde'sche Capillarbarometer.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doctorwürde

bei

hochlöblicher philosophischer Facultät zu Marburg

eingereicht von

Carl Fischer,

Hilfslehrer am Königlichen Gymnasium zu Marburg.

Marburg.

Universitäts-Buchdruckeréi (R. Friedrich).

1889.

Seinem hochverehrten Lehrer

Herrn Professor Dr. F. Melde

in Hochachtung und Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554034_0074

Das Melde'sche Capillarbarometer.

§ 1.

In den Wiedemannschen Annalen der Physik und Chemie N. F. B. XXXII hat Professor Dr. Melde hinsichtlich der Anwendung enger Glasröhren mitgeteilt, dass dieselben sich eignen, den Luftdruck zu messen. Diese Methode gründet sich auf die Thatsache, dass eine Quecksilbersäule in einer Glasröhre, wenn deren lichter Durchmesser weniger als 2 mm beträgt, und diese Quecksilbersäule ein Gasquantum in der an einem Ende verschlossenen Röhre absperrt, nicht herausfällt, sobald man das offene Ende der Röhre nach unten kehrt. Es ergeben sich hierbei zwei Lagen. In Lage I Fig. 1 ist das geschlossene Ende, in Lage II Fig. 2 das offene Ende nach unten gekehrt.

In Lage I befindet sich das abgesperrte Gasquantum v_1 , welches zwischen a und b liegt, unter dem Drucke $B + h_1$, wenn B der betreffende Barometerstand und h_1 die Länge der Quecksilbersäule bc bedeutet. Bringt man nun die Röhre in Lage II, so geht das Volumen v_1 des abgesperrten Gasquantums über in v . Die Länge der Quecksilbersäule würde, wenn die Röhre überall gleiches Kaliber hätte, dieselbe bleiben. Da dies aber nicht der Fall ist, so geht h_1 über in h . Das abgesperrte Luftquantum steht daher nun unter dem Drucke $B - h$.

Nach dem Mariotte'schen Gesetze ist:

$$(1). \quad \dots \dots \dots \frac{v}{v_1} = \frac{B + h_1}{B - h}.$$

Hieraus findet man:

$$(2). \quad \dots \dots \dots B = \frac{vh + v_1 h_1}{v - v_1}.$$

Wäre $h = h_1$, so würde diese Formel für B folgende einfache Form annehmen:

$$(3). \quad \dots \dots \dots B = \frac{(v + v_1) h}{v - v_1}.$$

Da jedoch h und h_1 verschieden sind, so ist es von Vorteil, die mittlere Länge $\frac{h + h_1}{2}$ einzuführen. Dadurch geht die Formel (3) über in:

$$(4). \quad \dots \dots \dots B = \frac{v + v_1}{v - v_1} \cdot \frac{h + h_1}{2}.$$

Dieser Wert für B ist aber nicht gleich dem in (2) angeführten. Der Unterschied beider Werte ist vielmehr:

$$A = \frac{vh + v_1 h_1}{v - v_1} - \frac{v + v_1}{v - v_1} \cdot \frac{h + h_1}{2}$$

oder

$$(5). \quad \dots \dots \dots A = \frac{h - h_1}{2}.$$

Um denselben Wert für B zu erhalten wie in Gleichung (2), hat man noch dem Werte für B in Gleichung (4) die Correction A hinzuzufügen, und erhält so als Formel für B :

$$(6). \quad \dots \dots \dots B = \frac{v + v_1}{v - v_1} \cdot \frac{h + h_1}{2} + \frac{h - h_1}{2}.$$

Vorstehende Formel habe ich bei der Berechnung des Barometerstandes im Folgenden zu Grunde gelegt.

§ 2.

Die Untersuchungen wurden mit 4 Glasröhren angestellt, welche von Franz Müller in Bonn bezogen waren.

Zunächst interessiert es, den Verschluss und die Art der Füllung der Röhren mit Quecksilber kennen zu lernen, wie dies schon von Melde in der oben citierten Abhandlung angegeben worden ist. Da die Gasvolumina und die Längen der Quecksilbersäulen an einer Millimeterskala abgelesen werden sollten; so musste die innere Fläche des verschlossenen Röhrenendes eben abgegrenzt sein, damit der Nullpunkt der Skala auch dem genauen Anfang des inneren Röhrenendes entsprach.

Würde man die Röhre zublasen, so würde sich keine ebene Verschlussfläche herstellen lassen. Die Röhren wurden daher mittelst eines Stahlcylinders, der etwa 1,5 cm lang war, und dessen Dicke der Weite der Röhre annähernd entsprach, verschlossen. Der Cylinder darf nicht genau in die Röhre passen, da sonst bei der ungleichmässigen Ausdehnung des Cylinders und der Röhre die letztere springen würde; er darf aber auch nicht zu dünn sein, da sich in diesem Falle ein Teil des eingeschlossenen Gases zwischen dem Cylinder und den Röhrenwänden einnisten würde. Das abgelesene Gasvolumen würde auf diese Weise fehlerhaft werden. Dieser Stahlcylinder wird an dem Ende, welches in die Röhre eingeschoben werden soll, gut poliert, sodann mit dem anderen Ende etwa bis zur Mitte in flüssigen Wachskitt getaucht und etwas über die Hälfte in die Röhre geschoben. Bevor man jedoch den Stahlcylinder in die Röhre einführt, muss letztere an dem betreffenden Ende erwärmt werden, da andernfalls der Wachskitt nicht an der Röhrenwand haftet. Hierauf kann das Ende der Röhre und der hervorstehende Teil des Stahlstiftes gut mit Siegellack verklebt werden. Weil man zu diesem Zwecke das Röhrenende erwärmen muss, so muss man etwas vorsichtig zu Werke gehen, damit der Wachskitt, welcher sich zwischen Stift und Röhrenwand befindet, nicht über den Stift hinaus in die Röhre dringt. Denn einmal würde dadurch die Röhre verunreinigt, und zweitens die polierte freie Fläche des Stiftes, die mit dem Nullstrich der Teilung zusammen fallen soll, als solche verschwinden. Das so geschlossene Ende der Röhre habe ich nochmals in flüssigen Wachskitt getaucht, welcher die in dem Siegellack häufig noch verbleibenden Öffnungen ausfüllt. Um endlich

noch etwa vorhandene minimale Öffnungen in dem Verschluss, durch welche das eingeschlossene Gas ausströmen und so jeden Versuch illusorisch machen könnte, zu beseitigen, kann man das geschlossene Röhrenende schliesslich in eine Lösung von Siegellack in Alkohol tauchen.

Bevor die Röhren jedoch verschlossen wurden, musste der innere Durchmesser derselben bestimmt werden, da man bei der später zu besprechenden Bestimmung des Fehlers des Meniskus die Weite der Röhren kennen muss.

Vermittelst eines Gummischlauches, welcher über ein Ende der Röhre gezogen war, konnte Quecksilber in die Röhre gesaugt werden, bis dieselbe ganz gefüllt war. Darauf wurde das andere Ende der Röhre unter Quecksilber mit einem Glasblättchen geschlossen, der Schlauch abgenommen und das überfliessende Quecksilber mit einem Glasblättchen abgestrichen.

Nachdem das Gewicht der Quecksilbersäule bestimmt war, liess sich das Volumen des Quecksilbers nach der Formel:

$$(7). \quad \dots \dots \dots v = \frac{P(1 + \alpha t)}{s}$$

berechnen, worin P das Gewicht der Quecksilbersäule, s das spezifische Gewicht des Quecksilbers bei 0° , α den der Ausdehnungskoeffizienten und t die Temperatur desselben bedeutet.

Wenn ferner d den Durchmesser des inneren Kalibers der Röhre bedeutet, so ist das Volumen der Quecksilbersäule auch:

$$v = \frac{d^2 \pi h}{4}.$$

Hiernach ergibt sich:

$$\frac{d^2 \pi h}{4} = \frac{P(1 + \alpha t)}{s}$$

und hieraus:

$$(8). \quad \dots \dots \dots d = 2 \sqrt{\frac{P(1 + \alpha t)}{s \pi h}}.$$

Die nach dieser Formel berechneten Durchmesser der 4 Röhren waren:

für Röhre 1 gleich $d = 0,85$ mm

„ „ 2 „ $d = 1,70$ „

„ „ 3 „ $d = 2,03$ „

„ „ 4 „ $d = 2,32$ „

§ 3.

Wenn die Röhren, welche man zu den Beobachtungen benutzt, überall gleiches Kaliber hätten, so wäre dies eine angenehme Sache. Selbstverständlich wird man aber nie solche Röhren bekommen. Daher ist es nötig, dieselben vorerst zu kalibrieren und eine Tabelle aufzustellen, nach welcher man das abgelesene Gasvolumen corrigieren kann.

Die Kalibrierung begann mit der weitesten Röhre 4, indem diese auf eine Millimeterskala, wie man solche bei dem Gauss'schen Magnetometer zu verwenden pflegt, befestigt wurde. Es geschah dies folgendermassen: Zunächst befestigte ich die Röhre mittelst einiger Gummiringe auf der Skala und stellte das obere Ende der Röhre verschliessenden Stahlstiftes mit

Hülfe einer Lupe genau auf den Nullpunkt der Skala ein. War dies geschehen, so wurde die Röhre an dem oberen Drittel der Skala mit Siegelack festgekittet. Damit man aber durch den Siegelack die Skala nicht beschädige und zu anderen Versuchen unbrauchbar mache, hat man an der Stelle, wo die Röhre festgekittet werden soll, unter ihr einen Papierstreifen um die Skala zu legen.

Um das zum Kalibrieren nötige Quecksilber einzufüllen, hatte ich einige kleine Glas-trichterchen in eine lange Spitze ausgezogen. Die scharfen Ränder der Spitzen schmilzt man an der Gasflamme um, damit nicht ein Kratzen an der Röhrenwand stattfindet. Da man zu der Kalibrierung nur gleiche und zwar kleine Mengen Quecksilber einzufüllen hat, so hatte ich ein kleines Glasröhrchen unten zugeschmolzen und an ein Stielchen von Holz mittelst Siegelack befestigt. Dieses Glasröhrchen, oder besser gesagt Löffelchen, wurde durch ein Trichterchen, welches in einen Ständer eingeklemmt war, und in welches man bequem das Quecksilber eingiessen konnte, gefüllt. Dadurch, dass man die Spitze des Trichterchens nahe an den Boden des Löffelchens hält, verhütet man auch, dass sich kleine Luftbläschen einschleichen. Zur Beseitigung des überflüssigen Quecksilbers streicht man mit einem Glasblättchen über das eben geschliffene Ende des Löffelchens hin. Auf diese Weise konnte stets die gleiche Menge Quecksilber in die Röhre eingefüllt werden.

Doch der eingefüllte Quecksilberfaden bewegt sich nicht von selbst in der Röhre weiter, weil die durch das Quecksilber abgefangene Luft nicht aus der Röhre entweichen kann. Diess liess sich dadurch bewerkstelligen, dass ich einen dünnen Stahldraht bis unter den Quecksilberfaden in die Röhre einführte. Auf diese Weise kann man den Quecksilberfaden bis an das zugemachte Ende der Röhre bringen, doch liegt noch die Gefahr nahe, dass der Stahldraht in die Wände der Röhre einkratzt. Die geringste derartige Verletzung kann aber ein Springen der Röhre veranlassen. Daher ist es nötig, das Ende des Drahtes mit einer Masse zu umgeben, welche die Röhrenwand nicht beschädigt. Am besten benutzt man hierzu Siegelack, indem ein ganz kleines Tröpfchen davon an das Ende des Drahtes angeschmolzen wird. Ferner ist beim Einführen des Drahtes einige Vorsicht nötig, dass derselbe nicht am oberen Rande der Röhre reibt. Denn auch hierdurch können kleine Einschnitte entstehen, durch welche kleine Stückchen der Röhre abspringen.

Hat man nun auf diese Weise den grössten Teil des Quecksilbers bis zu der betreffenden Stelle fortbewegt, so bemerkt man oft noch kleine Tröpfchen Quecksilber, welche längs der Röhrenwand haften. Am bequemsten ist es, mehrere solcher kleinen Tröpfchen zusammen zu bringen und zu einem grösseren Tropfen zu vereinigen, welcher dann leicht von selbst bis zu dem Quecksilberfaden hinabrutscht. Dies Vereinigen der Tröpfchen geschieht durch mässiges Klopfen an der Röhre oder, indem man ein Pferdehaar zwischen den Fingern drehend in der Röhre fortbewegt.

Die Kalibrierung wurde nun so ausgeführt, dass ich auf die oben beschriebene Weise eine kleine Menge Quecksilber eingoss und dessen Höhe mittelst eines Fernrohrs ablas. Darauf goss ich ein zweites Quantum Quecksilber ein und las wiederum dessen Höhe ab. So wurde fortgefahren bis zu dem Punkte, bis zu welchem ich die Röhre kalibrieren wollte. Die Längen der einzelnen Quecksilberfäden findet man in der zweiten, vierten und sechsten Columne der Tabelle A der Kalibrierungstabellen für Röhre 2, 3 und 4. Diese Längen der einzelnen Quecksilberfäden können nicht gleich sein, da keine Röhre durchweg gleiches Kaliber hat. Für Röhre 4 ist z. B. der erste Quecksilberfaden 27,90 mm, der zweite 27,20 mm, der dritte 27,10 mm lang. Aus diesen einzelnen

Längen wurde die mittlere Länge eines Quecksilberfadens berechnet. Dieselbe beträgt für Röhre 4: 26,76 mm.

Hätte nun die Röhre durchweg dasselbe mittlere Kaliber, so würde nach einer ersten Eingiessung die erste Quecksilbersäule eine Länge von 26,76 mm, nach einem zweimaligen Eingiessen die ganze Quecksilbersäule eine Länge von 53,52 mm, nach einem dreimaligen eine Länge von 80,28 mm gezeigt haben. Statt der Zahlen in der ersten, dritten und fünften Columnne der Tabelle A würde man dann die Zahlen in der ersten und vierten Columnne der Tabelle B erhalten, welche von den wirklich beobachteten Längen in der zweiten und fünften Columnne der Tabelle B um die unter »Corr.« danebenstehenden Werte abweichen. Die Correction ist negativ, wenn die wirklich beobachtete Länge grösser, dagegen positiv, wenn sie kleiner als die aus der mittleren Länge sich ergebende Strecke ist.

Nimmt man an, dass die Röhre zwischen zwei auf einander folgenden wirklichen Längen z. B. 162,60 mm und 189,50 mm stetig verlaufe, d. h. zwischen diesen beiden Strecken, wie man aus den Correctionen der Tabelle B. ersieht, sich hier stetig erweitere, wie man dies ja bei ausgesuchten Röhren doch wohl annehmen kann, so wird die Correction für eine Länge zwischen diesen beiden Strecken das Mittel aus den beiden Correctionen für 162,60 und 189,50 mm sein. Auf diese Weise kann man beliebig oft zwischen zwei Correctionen interpolieren. Mehr wie zwei bis drei Mal wird dies nicht nötig sein, da die Correctionen nach einer zweimaligen Interpolation schon nahezu gleich sind. Nach dieser Auffassung wurden dann die Correctionstabellen C als die im Folgenden praktisch verwendbaren Tabellen berechnet.

Bei den Versuchen entsprechen den bisher in Betracht kommenden Quecksilberlängen dann die Längen der in Millimetern abgelesenen Luftvolumina. Hätte man also ein solches Luftvolumen bei Röhre 4 z. B. gleich 356,2 mm abgelesen, so wäre nach Tabelle C die Correction — 1,90 anzubringen, d. h. das richtige Luftvolumen wäre 354,30 mm.

§ 4.

Während vorher bei den drei Röhren 4, 3, 2 das Einfüllen gleicher Mengen Quecksilber sehr bequem auszuführen war, ging das Einfüllen in die engste der vier Röhren, in Röhre 1, nicht so leicht und schnell von statten. Daher habe ich ein anderes Verfahren angewandt, um diese Röhre zu kalibrieren. Dasselbe beruht auf der Verschiebung eines Quecksilberfadens. Die Verschiebung wurde vermittelt eines Gummischlauches, der über das offene Ende der Röhre gezogen war, bewerkstelligt. Indem man durch Drücken des Schlauches zwischen zwei Fingern die Luft in der Röhre verdünnte oder comprimerte, konnte das Ende des Quecksilberfadens mit grosser Genauigkeit auf einen beliebigen Teilstrich der Scala eingestellt werden. Um die Längen des Quecksilberfadens abzulesen, wurde eine Lupe fest aufgestellt, und die Scala mit der Röhre parallel mit sich selbst verschoben. Die Röhre sollte kalibriert werden von 0 bis 540 mm. Es sei nun a das Intervall, in welchem kalibriert werden soll, und zwar sei a ein Vielfaches von 540, also z. B. $a = \frac{540}{n}$, wo n eine ganze Zahl ist. Es wurde deshalb ein Quecksilberfaden von nahezu 30 mm eingefüllt; n ist daher gleich 18. Ich nahm deshalb einen Faden von nahezu 30 mm, weil diese Länge der Länge der aufgegosenen Quecksilberfäden bei der Kalibrierung der drei anderen Röhren annähernd entsprach. Dieser Faden wurde folgeweise auf die Strecken der Teilung von 0 bis nahezu 30 mm, von 30 bis nahezu 2·30 mm u. s. w. gelegt.

In den einzelnen Lagen nahm der Faden die Anzahl der Teilstriche ein:

$30 + \delta_1$	auf der Strecke von	0 bis	30
$30 + \delta_2$	" " " "	30 "	2·30
$30 + \delta_3$	" " " "	2·30 "	3·30
.			
$30 + \delta_{18}$	" " " "	17·30 "	18·30

Die Grössen $\delta_1 \dots \delta_{18}$ sind kleine Zahlen, die positiv, Null oder negativ sein können, je nachdem der Faden über 30 mm, 2·30 mm u. s. w. hinausragt, oder gerade auf diesen Teilstrichen einsteht, oder dieselben nicht erreicht. Die Werte für δ_1 bis δ_{18} sind in der zweiten, vierten und sechsten Columnne der Tabelle A der Kalibrierungstabellen für Röhre 1 mitgeteilt.

Der zur Beobachtung benutzte Quecksilberfaden, achtzehn Mal je unmittelbar aneinandergelegt, nimmt das Volumen ein:

$$V = (30 + \delta_1) + (30 + \delta_2) + \dots + (30 + \delta_{18}) = 18 \cdot 30 + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18}.$$

Es ist also, wenn man mit f die Länge eines Einzelfadens bezeichnet, wie er in einer durchweg gleichen Röhre vom inneren Gesamtvolumen V beim achtzehnmaligen Hintereinanderlegen in Betracht käme:

$$18f = 18 \cdot 30 + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18},$$

oder es ist, wenn die Röhre vollständig cylindrisch wäre,

$$f = 30 + \frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18}}{18}$$

oder, wenn man der Abkürzung halber

$$\frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18}}{18} = \alpha$$

setzt:

$$f = 30 + \alpha$$

In einer Röhre mit gleichem Kaliber wird also der einfache Faden bis $30 + \alpha$, in der wirklich benutzten Röhre dagegen bis $30 + \delta_1$ reichen, der doppelte Faden bei gleichem Kaliber bis $60 + 2\alpha$, in der wirklich benutzten Röhre dagegen bis $60 + \delta_1 + \delta_2$ reichen u. s. w., wie aus folgender Tabelle zu ersehen ist:

Länge der Fäden bei gleichem Kaliber.	Wirkliche Längen der Fäden.
$30 + \alpha$	$30 + \delta_1$
$60 + 2\alpha$	$60 + \delta_1 + \delta_2$
$90 + 3\alpha$	$90 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$
.	.
.	.
.	.
.	.
$540 + 18\alpha$	$540 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_{18}$

Die Correction, die für die abgelesene Länge $30 + \delta_1$ anzubringen ist, beträgt daher $(\alpha - \delta_1)$, diejenige für die Länge $(60 + \delta_1 + \delta_2)$ beträgt $2\alpha - (\delta_1 + \delta_2)$ u. s. w., wie folgende Tabelle zeigt:

Wirkliche Längen der Fäden.	Corr.
$30 + \delta_1$	$\alpha - \delta_1$
$60 + \delta_1 + \delta_2$	$2\alpha - (\delta_1 + \delta_2)$
$90 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$3\alpha - (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)$
.	
.	
.	
$540 + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18}$	$18\alpha - (\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{18})$

Die Werte für die wirklichen Längen der Fäden und der dazu gehörigen Correctionen findet man in Tabelle B der Röhre 1. Für die dazwischen liegenden Längen wurde auf gewöhnlichem Wege interpoliert; dies lieferte die Tabelle C.

§ 5.

Bei der Ablesung der Längen der Quecksilbersäulen und der abgesperrten Gasvolumina wurde die Kuppe C (siehe Fig. 8 vergrößert) des Quecksilbers auf einen Teilstrich der Scala eingestellt. Hierdurch wird aber das abgeschlossene Gasquantum zu klein abgelesen, da noch ein Teil des Gases den Meniskus umgiebt. Dieser hieraus entstehende Fehler musste vermieden werden. Bunsen hat in seinen »Gasometrischen Methoden« ein Verfahren angegeben, die Grösse dieses Fehlers zu finden. Er giesst nämlich auf die Quecksilberkuppe verdünntes Quecksilbersublimat, welches bewirkt, dass der Meniskus verschwindet und das Quecksilber eine ebene Fläche bildet. Die Differenz zwischen der Ablesung an der Höhe der Kuppe und derjenigen an der ebenen Fläche ist der Fehler, den Bunsen »Fehler des Meniskus« nennt. Einige Versuche dieser Art habe ich mit Röhre 4 angestellt, und zwar habe ich die Röhre beinahe ganz mit Quecksilber gefüllt, damit das Sublimat leichter an das Quecksilber gebracht werden konnte, ohne die ganze innere Röhrenwand mit dem Sublimat zu benetzen. Nachdem die Länge der Säule abgelesen war, wurde mit einer in eine feine Spitze ausgezogenen Pipette ein Tropfen Sublimat vorsichtig auf die Quecksilberkuppe aufgegossen. Zur Vermeidung von Luftblasen, welche sich zwischen Sublimat und Quecksilber setzten und so den Versuch illusorisch machten, musste die Spitze der Pipette ganz nahe an die Quecksilberkuppe gebracht werden. Nach einigen Augenblicken breitete sich, nachdem man etwas gegen die Röhre geklopft hatte, die Kuppe der Quecksilbersäule in eine ebene Fläche aus. Darauf wurde die Länge der Quecksilbersäule wiederum abgelesen. Diese Versuche habe ich in einem Zimmerraum des physikalischen Instituts angestellt, in welchem die Temperatur zwischen zwei Ablesungen constant war, wie ein neben der Röhre aufgehängtes Thermometer zeigte. Denn, da es sich hierbei nur um sehr kleine Längen handelt, so kann die geringste Temperaturänderung einen beträchtlichen Fehler in der Ablesung bewirken. Das Resultat der Beobachtungen ist folgendes:

Länge der Säule ohne mit Sublimat.		Diff.
799,75	799,25	0,50
796,00	795,75	0,25
795,75	795,25	0,50
793,30	793,05	0,25
795,60	795,20	0,40
796,95	796,75	0,20
789,65	789,30	0,35

Die mittlere Differenz und somit der Fehler des Meniskus beträgt also:

0,35 mm.

Diese Versuche ergaben aber auch, dass das Sublimat die Röhre und das Quecksilber so verunreinigte, dass letzteres nicht mehr zu gebrauchen war. Es musste deshalb zu jedem Versuch die Röhre gut gereinigt und mit frischem Quecksilber gefüllt werden. Daher nahm ich von dieser Art der Bestimmung des Fehlers des Meniskus überhaupt Abstand und versuchte den Inhalt des ringförmigen Raumes zwischen Röhrenwand und Meniskus zu berechnen.

Nimmt man den Meniskus, den das Quecksilber bildet, als ein Kugelsegment an, so ist der Durchmesser des von der Röhre begrenzten Kugelkreises gleich dem Durchmesser der Röhre. Die Stelle aa' , wo das Quecksilber die Röhre berührt, kann am Massstab abgelesen werden. Somit ist auch die Höhe des Segments ab gegeben und es kann mithin der Inhalt desselben berechnet werden. Derselbe ist:

$$J_s = \frac{1}{6} \pi h (3r^2 + h^2).$$

Den Inhalt des Cylinders $aa'bb'$ kann man ebenfalls leicht berechnen. Denn die Höhe $h = ab$ und der Radius r des Grundkreises sind bekannt. Der Inhalt des Cylinders ist also:

$$J_c = r^2 \pi h.$$

Subtrahiert man den Inhalt des Kugelsegments von dem Inhalte des Cylinders, so erhält man den Inhalt des ringförmigen Raumes $abca'b'$ als:

$$J_r = J_c - J_s.$$

Der Inhalt dieses Ringes ist gleich dem Inhalte eines Cylinders, dessen Höhe h' die Grösse ist, die oben als »Fehler des Meniskus« bezeichnet wurde. Der Durchmesser des Grundkreises dieses Cylinders ist gleich dem Durchmesser der Röhre. Es ergibt sich also:

$$h' = \frac{J_r}{r^2 \pi}$$

als Fehler des Meniskus ausgedrückt in Millimetern.

Eine kurze Betrachtung wird zeigen, welchen Einfluss der Fehler des Meniskus auf das Endresultat der Berechnung des Barometerstandes hat. Bezeichnet man den Fehler des Meniskus in der ersten und zweiten Lage der Beobachtung bezw. mit Δv_1 und Δv , so ist v_1 um Δv_1 und v um Δv zu klein abgelesen worden. Da aber die Menisken in der ersten und zweiten

Lage, wenn auch nicht ganz gleich, so doch nur ausserordentlich wenig verschieden sind, so kann man

$$\Delta v_1 = \Delta v$$

setzen. Fügt man diese Grösse den Gasvolumina hinzu, so gehen dieselben über in:

$$v + \Delta v, \text{ resp. } v_1 + \Delta v.$$

Dementsprechend ändert sich die Formel für den Barometerstand in $B + \Delta B$ und ist:

$$B + \Delta B = \frac{v + v_1 + 2 \Delta v}{v - v_1} \cdot \frac{h + h_1}{2} + \frac{h - h_1}{2}$$

oder:

$$B + \Delta B = \frac{v + v_1}{v - v_1} \cdot \frac{h + h_1}{2} + \frac{h - h_1}{2} + \frac{h + h_1}{2} \cdot \frac{2 \Delta v}{v - v_1}$$

Hieraus ergibt sich die Correction, welche dem berechneten Barometerstande noch hinzuzufügen ist, als:

$$\Delta B = \frac{h + h_1}{2} \cdot \frac{1}{v - v_1} \cdot 2 \Delta v.$$

Zur Berechnung von Δv wurde an mehreren Stellen der Röhre die Höhe des Meniskus abgelesen und hieraus das Mittel genommen. Die Berechnungen von Δv für die vier Röhren ergeben folgende Resultate:

$$\begin{array}{ll} \text{Röhre 1} & \Delta v = 0,03 \text{ mm} \\ \text{,, 2} & \Delta v = 0,13 \text{ „} \\ \text{,, 3} & \Delta v = 0,27 \text{ „} \\ \text{,, 4} & \Delta v = 0,31 \text{ „} \end{array}$$

Wie oben gesehen, betrug für Röhre 4 der durch Beobachtung nach Bunsen gefundene Fehler des Meniskus:

$$0,35 \text{ mm};$$

der berechnete:

$$0,31 \text{ mm},$$

und stimmen demnach beide genügend überein.

Diese Methode ist also ganz geeignet, den Fehler des Meniskus für enge Röhren zu finden.

§ 6.

Nach diesen Vorarbeiten wurden je zwei der Röhren nebeneinander in der früher beschriebenen Weise auf einer Scala befestigt. Die Scalen waren an beiden Enden mit einer Öse versehen, vermittelt deren sie in den beiden Lagen an Haken aufgehängt werden konnten. Damit die Röhren frei und senkrecht hingen, hatte ich an zwei etwa 2 m hohen Ständern oben eine Querleiste befestigt, an welcher die beiden Scalen aufgehängt wurden.

Die zwölferten Beobachtungen habe ich im Auditorium des physikalischen Instituts angestellt. Das Gas, mit welchem die Beobachtungen angestellt wurden, war atmosphärische Luft von der Temperatur des Beobachtungszimmers.

Zunächst wurde bei horizontaler Lage der Röhren ein Luftquantum von etwa 150 mm Länge abgesperrt und so viel Quecksilber aufgegossen, dass, wenn man das offene Ende der Röhre

nach unten kehrte, die Quecksilbersäule bis nahe an das Ende reichte, also möglichst lang war. Die Länge war bei den einzelnen Röhren etwas verschieden und betrug 430 bis 470 mm.

Bei einer weiteren Reihe von Beobachtungen betrug das Volumen des abgesperrten Luftquantums 250 mm. Die Längen der Quecksilbersäulen waren jetzt natürlich kleiner und lagen zwischen 350 und 370 mm.

Die Ablesungen wurden jetzt ohne Fernrohr gemacht und zwar in folgender Weise:

In Lage I wurde an Röhre 1 an der oberen Kuppe *c* (siehe Fig. 1) der Quecksilbersäule abgelesen. Die Länge *ac* ist in den Beobachtungstabellen mit r_1 bezeichnet. Darauf wurde an der unteren Kuppe *b* der Säule abgelesen, wodurch man das Volumen des Luftquantums $ab = (v_1)$ erhielt. Die Differenz $r_1 - (v_1)$ gab die Länge der Quecksilbersäule h_1 . Nun wurde die Scala umgedreht und in Lage II in derselben Reihenfolge abgelesen. Die Grössen r_1 (v_1) und h_1 gingen nun in r , (v) und h über. Wenn in dieser Weise die Ablesungen an den vier Röhren gemacht waren, wurden dieselben noch einmal wiederholt und aus beiden Ablesungen das Mittel genommen.

Die aus diesen Beobachtungen berechneten Barometerstände sind verglichen mit den an einem Normalbarometer abgelesenen Barometerständen. Der Sicherheit wegen wurde der Barometerstand vor und nach den Beobachtungen abgelesen. Hatte sich dieser während der Beobachtungen geändert, wobei die Änderung aber niemals über ein Zehntel Millimeter betrug, so wurde aus beiden Barometerständen das Mittel genommen.

Da das Normalbarometer, welches im meteorologischen Zimmer des Instituts aufgehängt ist, nicht auf längere Zeit aus diesem Raume entfernt werden durfte, dieses Zimmer sich aber ein Stockwerk höher befindet als das Auditorium, so musste der Unterschied zwischen dem Luftdruck in den beiden Zimmern bestimmt werden. An dem Normalbarometer wurde zunächst im meteorologischen Zimmer der Barometerstand abgelesen. Sodann wurde dasselbe eine Stiege tiefer getragen und wieder abgelesen. Nachdem dieses einigemal wiederholt war, ergab sich als mittlere Differenz zwischen den beiden Barometerständen:

$$\text{diff} = 0,4 \text{ mm.}$$

Diese Differenz musste bei Vergleichung des aus der gegebenen Formel berechneten und am Normalbarometer abgelesenen Luftdruckes zu dem letzteren addiert werden.

Ferner war die Temperatur der beiden erwähnten Räume nicht dieselbe. Es war deshalb nötig, beide Barometerstände auf die Temperatur 0° zu reduzieren. Eine Reduktionstabelle für das Normalbarometer lag vor. Um auch eine solche für das Capillarbarometer anzufertigen, hat man folgende Betrachtung anzustellen.

Wenn h die bei einer gewissen Temperatur t^0 abgelesene Länge der Quecksilbersäule bedeutet, so ist die auf 0° reduzierte Länge gleich:

$$h [1 - (\alpha - \alpha_1) t],$$

wenn α den Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers und α_1 denjenigen der Scala, hier des Holzes, bedeutet. Da jedoch der Ausdehnungskoeffizient des Holzes sehr gering ist, so kann derselbe vernachlässigt werden, und man erhält den auf 0° reduzierten Barometerstand:

$$B_c = B (1 - \alpha t),$$

wenn B_c den reduzierten und B den noch nicht reduzierten Barometerstand bedeutet.

Die Correction ist daher:

$$- B \alpha t$$

Die für Barometerstände von 710 bis 760 mm und für Temperaturen von 0° bis $+20^{\circ}$ berechneten Correctionen finden sich in der Reductionstabelle des Barometerstandes auf 0° . Für Temperaturen unter 0° hat man die Correctionen für die entsprechende Temperatur über 0° mit entgegengesetzten Zeichen zu nehmen.

Die Beobachtungen mit möglichst langen Quecksilbersäulen sind in der Beobachtungstabelle I zusammengestellt, zu deren Erklärung noch folgendes dienen möge.

In Columne 1 stehen die laufenden Nummern der Beobachtungen mit den vier Röhren, und zwar folgen die Röhren innerhalb einer Beobachtung in der Reihenfolge 1, 2, 3, 4. In der zweiten Columne steht die Länge des abgesperrten Luftquantums. In den vier darauf folgenden Columnen findet man die bei den Beobachtungen abgelesenen Grössen r , (v) , r_1 , (v_1) . In der siebenten und achten Columne folgen die corrigierten Luftvolumina v und v_1 und darauf in der neunten und zehnten die Längen der Quecksilbersäulen h und h_1 als die Differenzen von $[r - (v)]$ bzw. $[r_1 - (v_1)]$. Die in der elften bis fünfzehnten Columne stehenden Zahlen dienen, wie aus der Formel des Barometerstandes ersichtlich ist, zur Berechnung des in der sechzehnten Columne folgenden Barometerstandes B . Die mit AB überschriebene Columne enthält die aus dem Fehler des Meniscus sich ergebende Correction. t ist die Temperatur des Beobachtungszimmers. Mit B_c ist der auf 0° reduzierte, aus der Formel berechnete, und mit B_n der auf 0° reduzierte, an dem Normalbarometer abgelesene Barometerstand bezeichnet. Die letzte Columne endlich enthält die Abweichungen des mit dem Capillarbarometer und des mit dem Normalbarometer bestimmten Barometerstandes. Wie ein Blick auf die Tabelle zeigt, stimmen beide Barometerstände sehr genau überein. Bei den sechs ersten Beobachtungen, bei welchen die Quecksilbersäule eine Länge von annähernd 450 mm hatte, beträgt die Differenz nur ein, zwei oder drei Zehntel Millimeter. Nur zwei Mal ist die Differenz 0,8 mm, so dass dieser Fehler mehr einer ungenauen Ablesung als der Methode, den Barometerstand zu berechnen, zuzuschreiben ist. Bei den sechs folgenden Beobachtungen, bei welchen die Quecksilbersäule nahezu 350 mm lang war, werden die Differenzen einige Mal etwas grösser.

§ 7.

Wie wir im vorigen Paragraphen gesehen haben, erhält man den Barometerstand mit grosser Genauigkeit, wenn man die Quecksilbersäulen und Luftsäulen in den dort angenommenen Längen verwendet.

Es bleibt nun noch übrig, zu untersuchen, ob man der Röhre statt der Länge eines gewöhnlichen Barometers die halbe Länge geben kann, d. h. ob die Resultate noch Anspruch auf Genauigkeit machen können, wenn man die Quecksilbersäule vielleicht nur 100 mm lang macht. Dies muss verneint werden. Denn hat die Quecksilbersäule eine nur geringe Länge, so ist der Druck, den dieselbe auf das abgesperrte Luftquantum ausübt, auch nur ein geringer. Die Luftvolumina in Lage I und II werden daher nur wenig von einander verschieden sein. Die Folge davon ist, dass der Nenner $(v - v_1)$ der gegebenen Formel nur klein wird und im Grenzfall, wenn man die Quecksilbersäule immer kleiner werden lässt, fast gleich Null wird. In dem letzteren Falle aber wird die Formel zur Berechnung des Barometerstandes unbrauchbar. Je kleiner man also die Quecksilbersäule werden lässt, desto mehr wird man sich diesem Grenzfall nähern und desto ungenauer werden die Resultate werden.

Um diese Folgerung aus der Formel für den Barometerstand praktisch nachzuweisen, habe ich noch einige Beobachtungen mit kleineren Quecksilbersäulen und zwar nur mit Röhre 3 und 4

angestellt. Zunächst nahm ich ein Luftquantum von 100 mm und eine Quecksilbersäule von nahe 200 mm Länge, bei den folgenden Beobachtungen ein Luftquantum von 50 mm und eine Quecksilbersäule von nahe 100 mm Länge. Die Ablesungen wurden wieder in der in § 6 angegebenen Weise gemacht. Die Resultate dieser Beobachtungen finden sich in der Beobachtungstabelle II. Eine Reduktion der Barometerstände auf 0° war überflüssig, da diesmal die Beobachtungen in demselben Zimmer, in welchem das Normalbarometer hing, gemacht wurden.

In beiden Fällen, bei einer Quecksilbersäule von 200 und 100 mm Länge, weichen die berechneten Barometerstände von den am Normalbarometer abgelesenen beträchtlich ab. Jedoch lässt sich durch einen einfachen Kunstgriff die Verkürzung des Capillarbarometers erreichen, ohne dass das verkürzte Barometer an Empfindlichkeit dem längeren nachsteht. Ein Blick auf Fig. 4 wird dieses klar machen. Es stelle Fig. 4a ein gewöhnliches Melde'sches Capillarbarometer in Lage I dar. In dieser Lage wird der untere Meniskus *b* der Quecksilbersäule bei einer Änderung des Luftdruckes nicht weit unter *b* sinken, so dass die langgestreckte cylindrische Gestalt des Teiles *ba* überflüssig wird. Denkt man sich daher diesen Teil, wie Fig. 4b zeigt, zu einer kleinen Kugel aufgeblasen, deren Volumen dem Volumen des Cylinders gleich ist, so hat man eine bedeutende Verkürzung des Barometers erreicht, ohne dass die Empfindlichkeit im Vergleich mit dem längeren Barometer gelitten hätte.

Es erübrigt noch, einiges über die Methode der Kalibrierung dieser Art von Röhren zu sagen.

Analog dem früheren Verfahren, giesst man so lange gleiche Mengen Quecksilber zu, bis dasselbe aus der Kugel heraustritt. Der Stand des Quecksilbers in der Röhre wird jetzt abgelesen, und von diesem Punkte an die Röhre in der früher angegebenen Weise durch weiteres Zugiessen kalibriert. Aus der Länge der einzelnen Quecksilberfäden in der Röhre wird das Mittel gebildet. Angenommen nun man hätte als mittlere Länge der einzelnen Quecksilberfäden in der Röhre 26,70 mm gefunden und zur Füllung der Kugel zehn Eingiessungen nötig gehabt, so würde das Volumen der Kugel dem Volumen einer cylindrischen Röhre von 267,0 mm entsprechen. Dementsprechend würde man den Punkt der Röhre, bei welchem das letzte eingegossene Quecksilberquantum mit seinem in die Röhre hineinragenden Ende stand, mit 267,0 zu bezeichnen und von da an mit der Bezeichnung fortzufahren haben.

§ 8.

Um das Capillarbarometer praktisch zu verwenden, müssen noch einige Punkte erörtert werden.

Angenommen, man hätte bei einer gewissen Temperatur ein Luftquantum durch eine Quecksilbersäule abgesperrt, und man machte eine Beobachtung bei einer anderen Temperatur. Es fragt sich nun, ist es nötig, die Röhre frisch zu füllen, oder hat eine Temperaturänderung keinen Einfluss auf das Resultat?

Wenn die Temperatur zwischen Füllung und Ablesung sich geändert hat, gleichviel ob dieselbe gestiegen oder gefallen ist, jedoch so, dass der Taupunkt der eingeschlossenen Luft noch nicht erreicht ist, so ist das Volumen:

$$v \text{ in } v(1 + \alpha t) \text{ und} \\ v_1 \text{ in } v_1(1 + \alpha t)$$

übergegangen, dem entsprechend sich die Barometerformel in:

$$B = \frac{v(1 + \alpha t) + v_1(1 + \alpha t)}{v(1 + \alpha t) - v_1(1 + \alpha t)} \cdot \frac{h + h_1}{2} + \frac{h - h_1}{2}$$

umändert. Der Factor $(1 + \alpha t)$ fällt, wie man sieht, heraus, und man hat wieder die gegebene Barometerformel. Eine solche Änderung der Temperatur hat also keinen Einfluss auf das Resultat.

Von Einfluss könnte jedoch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sein. Wenn nämlich die Temperatur sinkt, so wird sich die eingeschlossene Luft dem Maximum ihrer Sättigung mit Wasserdampf immer mehr nähern. Doch auch diese Thatsache bedingt noch keine neue Füllung der Röhre. Denn in der Formel für den Barometerstand kommen nur die Volumina der abgeschlossenen Gase, nicht aber deren specifische Gewichte vor. Man könnte deswegen recht gut die Beobachtungen mit jedem beliebigen Gase, mithin auch mit einem Gemische von atmosphärischer Luft und Wasserdampf anstellen.

Ist jedoch die Temperatur so weit gesunken, dass der Condensationspunkt der abgesperrten Luft überschritten ist, so wird man sich zu einer neuen Füllung bequemen müssen. Denn obwohl die Menge des niedergeschlagenen Wassers eine ganz minimale ist, so werden sich doch die Röhrenwände beschlagen und so keine genaue Ablesung gestatten. Ferner wird das Wasser, welches sich auf dem Meniskus des Quecksilbers niedergeschlagen hat, die Oberflächenspannung verändern und ein Hängenbleiben des Quecksilbers verursachen.

Nicht minder wesentlich zur praktischen Verwertung des Capillarbarometers ist es, zu wissen, welchen Einfluss eine ungenaue Ablesung der einzelnen Grössen auf das Resultat haben wird.

Zur Beantwortung dieser Frage hat man die Formel für B nach den betreffenden Grössen zu differenzieren. Die partiellen Differentiale liefern die entsprechenden Fehler, nämlich:

$$\delta B_1 = -\frac{2v_1}{(v - v_1)^2} \cdot \frac{h + h_1}{2} \cdot \delta v$$

$$\delta B_2 = \frac{2v}{(v - v_1)^2} \cdot \frac{h + h_1}{2} \cdot \delta v_1$$

$$\delta B_3 = \frac{v}{v - v_1} \cdot \delta h$$

$$\delta B_4 = \frac{v_1}{v - v_1} \cdot \delta h_1$$

Betrachtet man beispielsweise die erste der vier Gleichungen, so hat diese die Bedeutung, dass, wenn man v um eine Grösse δv falsch abliest, dies im Resultat einen Fehler δB_1 bewirken würde. Das Fehlermaximum wird erhalten, wenn man die Summe der Partialfehler bildet. Den durch das Zusammenwirken wahrscheinlich entstehenden Fehler findet man, indem man die zweiten Potenzen der Partialfehler addiert und aus der Summe die Wurzel zieht. Demnach ist der wahrscheinliche Fehler:

$$F_w = \sqrt{\delta B_1^2 + \delta B_2^2 + \delta B_3^2 + \delta B_4^2}.$$

Schlussbemerkung.

Wie man aus § 6 und der Beobachtungstabelle I ersieht, stimmen die berechneten Barometerstände mit den an dem Normalbarometer abgelesenen fast genau überein, wenn die Quecksilbersäulen möglichst lang sind. Die zu den Beobachtungen verwendeten Röhren waren nahezu 1 m lang, hatten also die Länge eines gewöhnlichen Barometers. Diese Länge kann aber mit Rücksicht auf die Auseinandersetzungen im zweiten Absatze pag. 16 bedeutend kleiner sein, demzufolge der ganze Apparat auch wesentlich compendiöser wird und wegen der kürzeren Skala auch leichter und billiger herzustellen und zu handhaben ist. Ferner ist im § 8 gezeigt worden, dass Temperaturänderungen keinen Einfluss auf die Genauigkeit des Resultates haben. Man braucht also, ausgenommen den Fall, wo der Condensationspunkt der eingeschlossenen Luft überschritten ist, die Röhren nicht zu jeder Beobachtung frisch zu füllen. Endlich macht auch die Ablesung der einzelnen Grössen nicht die geringste Schwierigkeit.

Nach diesen Erörterungen dürfte einer praktischen Verwendung des Capillarbarometers nichts im Wege stehen. Zu verschiedenen Zwecken ist es dem gewöhnlichen Barometer sogar vorzuziehen, z. B. als Reisebarometer. Denn alle Vorsichtsmassregeln, welche der Transport des gewöhnlichen Barometers nötig macht, fallen bei dem Capillarbarometer fort. Ein nicht unwesentlicher Vorzug des Capillarbarometers ist die leichte Anfertigung und Billigkeit desselben.

Kalibrierungs-Tabellen.

Röhre 1. Durchmesser: 0,85 mm.

Tabelle A.

Abgelesene Länge der einzelnen Quecksilberfäden.	δ	Abgelesene Länge der einzelnen Quecksilberfäden.	δ	Abgelesene Länge der einzelnen Quecksilberfäden.	δ
30,3	+0,3	29,5	—0,5	29,7	—0,3
30,0	0,0	29,7	—0,3	29,1	—0,9
30,0	0,0	29,7	—0,3	29,1	—0,9
29,8	—0,2	29,7	—0,3	29,0	—1,0
29,8	—0,2	29,5	—0,5	29,0	—1,0
29,5	—0,5	29,6	—0,4	29,0	—1,0

Tabelle B.

Wirkliche Länge der Quecksilberfäden.	Corr.	Wirkliche Länge der Quecksilberfäden.	Corr.	Wirkliche Länge der Quecksilberfäden.	Corr.
30,30	—0,74	208,90	—1,98	386,80	—2,52
60,30	—1,18	238,60	—2,12	415,90	—2,06
90,30	—1,62	268,30	—2,26	445,00	—1,60
120,10	—1,86	298,00	—2,40	474,00	—1,04
149,20	—2,10	327,50	—2,34	503,00	—0,48
179,40	—2,04	357,10	—2,38	532,00	+0,08

Tabelle C.

Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.
0,00	0,00	142,95	—2,02	283,15	—2,23	423,17	—1,94
7,57	—0,18	149,90	—2,10	290,57	—2,31	430,45	—1,83
15,15	—0,37	157,27	—2,08	298,00	—2,40	437,72	—1,71
22,72	—0,55	164,65	—2,07	305,37	—2,38	445,40	—1,60
30,30	—0,74	172,32	—2,05	312,75	—2,37	452,25	—1,46
37,80	—0,85	179,40	—2,04	320,12	—2,35	459,50	—1,32
45,30	—0,96	186,77	—2,02	327,50	—2,34	466,75	—1,18
52,80	—1,07	194,15	—2,01	334,90	—2,35	474,00	—1,04
60,30	—1,18	201,52	—1,99	342,30	—2,36	481,25	—0,90
67,50	—1,29	208,90	—1,98	349,70	—2,37	488,50	—0,76
75,30	—1,40	216,32	—2,01	357,10	—2,38	495,75	—0,62
82,80	—1,51	223,75	—2,05	364,52	—2,41	503,00	—0,48
90,30	—1,62	231,32	—2,08	371,95	—2,45	510,25	—0,34
97,75	—1,66	238,60	—2,12	379,27	—2,48	517,50	—0,20
105,20	—1,71	246,02	—2,10	386,80	—2,52	524,75	—0,06
112,65	—1,78	253,45	—2,09	394,07	—2,40	532,00	+0,08
120,10	—1,86	260,87	—2,07	401,35	—2,29		
127,55	—1,88	268,30	—2,06	408,62	—2,17		
135,00	—1,95	275,72	—2,14	415,90	—2,06		

Röhre 2. Durchmesser: 1,70 mm.

Tabelle A.

Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedere einzelnen Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedere einzelnen Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedere einzelnen Quecksilberfäden.
59,80	59,80	245,80	62,00	427,20	61,20
121,00	61,20	306,10	60,30	489,00	61,80
183,80	62,80	366,00	59,90	550,90	61,90

Die mittlere Länge eines beobachteten Quecksilberfadens beträgt: 61,21 mm.

Tabelle B.

Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.	Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.
61,21	59,80	+1,41	367,26	366,00	+1,26
122,42	121,00	+1,40	428,47	427,20	+1,27
183,63	183,80	-0,17	489,68	489,00	+0,68
244,84	245,80	-0,96	550,89	550,00	+0,89
306,05	306,10	-0,05			

Tabelle C.

Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.
0,00	0,00	144,55	+0,80	291,02	-0,27	434,92	+1,19
7,47	+0,17	152,40	+0,61	298,56	-0,16	442,65	+1,12
14,95	+0,35	160,25	+0,41	306,10	-0,05	450,37	+1,04
22,42	+0,52	168,10	+0,22	312,58	+0,11	458,10	+0,97
29,90	+0,70	175,95	+0,02	321,07	+0,27	465,82	+0,89
37,37	+0,87	183,80	-0,17	328,56	+0,43	473,55	+0,82
44,85	+1,05	196,55	-0,29	336,05	+0,60	481,27	+0,75
52,32	+1,23	199,30	-0,41	343,83	+0,76	489,00	+0,68
59,80	+1,41	207,05	-0,48	351,02	+0,93	496,62	+0,70
65,70	+1,41	214,80	-0,56	358,51	+1,09	504,25	+0,73
72,60	+1,41	222,55	-0,66	366,00	+1,26	511,87	+0,75
79,00	+1,41	230,30	-0,76	373,65	+1,26	519,50	+0,78
85,40	+1,40	238,05	-0,86	381,30	+1,26	527,12	+0,80
94,30	+1,40	245,80	-0,96	388,95	+1,26	534,75	+0,83
103,20	+1,40	253,33	-0,84	396,60	+1,26	542,37	+0,86
112,10	+1,40	260,87	-0,73	404,25	+1,27	550,00	+0,89
121,00	+1,40	268,41	-0,61	411,90	+1,27		
128,85	+1,20	275,95	-0,50	419,55	+1,27		
136,70	+1,00	283,48	-0,33	427,20	+1,27		

Röhre 3. Durchmesser: 2,06 mm.

Tabelle A.

Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzeln Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzeln Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzeln Quecksilberfäden.
33,00	33,00	222,70	31,45	410,00	31,90
65,20	32,20	253,75	31,05	441,80	31,80
97,00	31,80	284,90	31,15	474,00	32,20
128,10	31,10	315,70	30,80	506,40	32,40
159,80	31,70	346,90	31,20	538,83	32,43
191,25	31,45	378,10	31,20		

Die mittlere Länge eines Quecksilberfadens beträgt: 31,69 mm.

Tabelle B.

Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.	Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.
31,69	33,00	-1,31	316,90	315,70	+1,20
63,38	65,20	-1,92	348,59	346,90	+1,69
95,07	97,00	-1,93	380,28	378,10	+2,18
126,76	128,10	-1,34	411,97	410,00	+1,97
158,45	159,80	-1,35	443,66	441,80	+1,86
190,14	191,25	-1,11	475,35	474,00	+1,35
221,83	222,70	-0,87	507,04	506,40	+0,58
253,52	253,75	-0,23	538,73	538,83	-0,10
285,21	284,90	+0,31			

Tabelle C.

Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.
0,00	0,00	143,95	-1,34	284,90	+0,31	425,90	+1,91
8,25	-0,32	151,87	-1,34	292,60	+0,53	433,85	+1,88
16,50	-0,65	159,80	-1,35	300,30	+0,75	441,80	+1,86
24,75	-0,98	167,66	-1,29	308,00	+0,97	449,85	+1,73
33,00	-1,31	175,52	-1,23	315,70	+1,20	457,90	+1,60
41,05	-1,46	183,38	-1,17	323,50	+1,32	465,95	+1,47
49,10	-1,61	191,25	-1,11	331,30	+1,44	474,00	+1,35
57,15	-1,76	199,11	-1,05	339,10	+1,56	482,10	+1,15
65,20	-1,92	206,97	-0,99	346,90	+1,69	490,20	+0,96
73,15	-1,92	214,83	-0,93	354,70	+1,81	498,33	+0,77
81,10	-1,92	222,70	-0,87	362,50	+1,93	506,46	+0,58
89,05	-1,92	230,46	-0,71	370,30	+2,05	514,55	+0,41
97,00	-1,93	238,22	-0,55	378,10	+2,18	522,64	+0,24
104,77	-1,78	245,98	-0,39	386,07	+2,12	530,73	+0,06
112,55	-1,63	253,75	-0,23	394,05	+2,07	538,83	-0,10
120,32	-1,48	261,53	-0,09	402,02	+2,02		
128,10	-1,34	269,32	+0,04	410,00	+1,97		
136,02	-1,34	277,11	+0,17	417,95	+1,94		

Röhre 4. Durchmesser: 2,32 mm.

Tabelle A.

Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzelnen Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzelnen Quecksilberfäden.	Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Längedereinzelnen Quecksilberfäden.
27,90	27,90	189,50	26,90	350,00	26,40
55,10	27,20	216,50	27,00	375,90	25,90
82,20	27,10	243,70	27,20	402,00	26,10
109,20	27,00	270,70	27,00	428,50	26,50
136,00	26,80	297,00	26,30	455,00	26,50
162,60	26,60	323,60	26,60	481,60	26,60

Die mittlere Länge eines Quecksilberfadens beträgt: 26,76 mm.

Tabelle B.

Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.	Mittlere Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Wirkliche Länge der ganzen Quecksilberfäden.	Corr.
26,76	27,90	-1,14	267,60	270,70	-3,10
53,52	55,10	-1,58	294,36	297,00	-2,64
80,28	82,20	-1,92	321,12	323,60	-2,48
107,04	109,20	-2,16	347,88	350,00	-2,12
133,80	136,00	-2,20	374,64	375,90	-1,26
160,56	162,60	-2,04	401,40	402,00	-0,60
187,32	189,50	-2,18	428,16	428,50	-0,34
214,08	216,50	-2,42	454,92	455,00	-0,08
240,84	243,70	-2,86	481,68	481,60	+0,08

Tabelle C.

Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.	Abgelesene Länge in mm.	Corr.
0,00	0,00	129,30	-2,19	257,20	-2,93	382,42	-1,59
6,97	-0,28	136,00	-2,20	263,95	-3,04	388,95	-0,93
13,95	-0,57	142,65	-2,16	270,70	-3,10	395,47	-0,77
20,93	-0,85	149,30	-2,12	277,27	-2,98	402,00	-0,60
27,90	-1,14	155,95	-2,08	283,85	-2,87	408,62	-0,54
34,70	-1,25	162,60	-2,04	290,42	-2,76	415,25	-0,47
41,50	-1,36	169,32	-2,08	297,00	-2,64	421,87	-0,40
48,30	-1,47	176,05	-2,11	303,65	-2,60	428,50	-0,34
55,10	-1,58	182,77	-2,15	310,30	-2,56	435,12	-0,28
61,87	-1,66	189,50	-2,18	316,95	-2,52	441,75	-0,21
68,65	-1,75	196,25	-2,24	323,60	-2,48	448,37	-0,15
75,42	-1,84	203,00	-2,30	330,20	-2,39	455,00	-0,08
82,20	-1,92	209,75	-2,36	336,80	-2,30	462,65	-0,04
88,95	-1,98	216,50	-2,42	343,40	-2,21	468,30	0,00
95,75	-2,04	223,20	-2,53	350,00	-2,12	474,95	+0,04
102,45	-2,10	230,10	-2,64	356,47	-1,90	481,60	+0,08
109,20	-2,16	236,90	-2,75	362,95	-1,69		
115,90	-2,17	243,70	-2,86	369,42	-1,47		
122,60	-2,18	250,45	-2,92	375,90	-1,26		

Reduction des Barometerstandes auf 0°.

<i>t.</i>	Abgelesener Stand in Millimetern.					
	710	720	730	740	750	760
+ 1	—0,12	—0,13	—0,13	—0,13	—0,13	—0,13
2	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
3	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41
4	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54
5	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68
6	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82
7	0,89	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96
8	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10
9	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24
10	1,28	1,30	1,32	1,33	1,35	1,39
11	1,41	1,42	1,45	1,47	1,49	1,42
12	1,54	1,56	1,58	1,60	1,62	1,65
13	1,67	1,69	1,71	1,74	1,76	1,78
14	1,79	1,82	1,84	1,87	1,90	1,92
15	1,92	1,95	1,98	2,00	2,03	2,06
16	2,05	2,08	2,11	2,14	2,17	2,20
17	2,18	2,21	2,24	2,27	2,30	2,33
18	2,31	2,34	2,37	2,41	2,44	2,47
19	2,44	2,47	2,50	2,54	2,57	2,61
20	2,57	2,60	2,63	2,67	2,71	2,75

Beobachtungs - Tabelle I.

Abgesenrt. Luft- quantum in mm	r	(v)	r_1	(v_1)	v	v_1	h	h_1	$v + v_1$	$\frac{h + h_1}{2}$	$v - v_1$	$\frac{h - h_1}{2}$	$\frac{(v + v_1)}{2}$	B	ΔB	t	B_c	B_n	Diff.
1	786,90	319,80	535,10	88,90	347,43	87,28	437,10	446,20	434,71	441,65	260,15	—	4,55	733,4	+ 0,1		731,1		+ 0,1
	799,05	360,60	530,35	89,35	361,69	90,75	438,45	441,00	452,44	439,73	270,94	—	1,27	733,6	+ 0,4	18° C.	731,2		+ 0,2
	883,73	415,40	536,93	95,88	417,34	93,95	468,33	441,05	511,29	454,68	323,39	+ 13,63		732,5	+ 0,7		731,0	731,0	0,0
	674,85	308,10	470,25	103,85	305,54	101,75	366,75	366,40	407,29	366,57	203,79	+ 0,17		732,8	+ 1,1		731,3		+ 0,3
2	786,15	319,50	534,55	88,35	347,13	86,73	436,65	446,20	433,86	441,43	260,40	—	5,05	730,4	+ 0,1		728,3		— 0,3
	799,00	361,00	529,90	89,10	362,09	90,50	438,00	440,80	452,59	439,40	271,59	—	1,40	730,8	+ 0,4	17°	729,0		+ 0,4
	885,50	417,40	536,60	95,70	419,34	93,77	468,10	440,90	513,11	454,50	323,57	+ 13,60		729,9	+ 0,7		728,4	728,6	— 0,2
	791,03	359,10	523,60	93,83	357,32	91,79	431,93	429,80	449,11	430,87	265,53	+ 1,07		729,9	+ 0,9		728,6		0,0
3	784,50	347,70	531,10	87,80	345,33	86,18	436,80	446,30	431,51	441,55	259,15	—	4,75	730,4	+ 0,1		728,1		— 0,2
	797,23	359,40	529,53	88,63	360,49	90,03	437,83	440,90	450,52	439,37	270,46	—	1,53	730,4	+ 0,4	18°	728,4		+ 0,1
	886,18	418,00	536,68	95,78	419,94	93,85	468,18	440,90	513,79	454,54	326,09	+ 13,64		729,8	+ 0,7		728,2	728,3	— 0,1
	791,03	359,90	524,23	94,23	358,15	92,19	431,13	430,00	450,34	430,56	265,96	+ 0,56		729,6	+ 1,0		728,2		— 0,1
4	785,14	348,40	534,24	87,84	346,03	86,22	436,74	446,40	432,25	441,57	259,81	—	4,83	729,8	+ 0,1		727,5		+ 0,8
	800,25	362,30	529,75	88,95	363,47	90,35	437,95	440,80	453,82	439,38	273,12	—	1,42	728,7	+ 0,4	18°	726,7		0,0
	888,47	420,10	536,67	95,77	422,04	93,84	438,37	440,90	515,83	454,60	328,20	+ 13,74		728,3	+ 0,7		726,7		0,0
	792,54	361,00	524,14	94,04	359,31	92,00	431,54	430,10	451,31	430,82	267,31	+ 0,72		728,1	+ 1,0		726,7		0,0
5	783,57	347,00	533,47	87,32	344,63	85,70	436,57	446,15	430,33	441,36	258,93	—	4,78	728,7	+ 0,1		726,8		0,0
	796,00	359,10	529,00	88,30	360,19	89,70	437,80	440,70	449,89	439,25	270,49	—	1,45	729,2	+ 0,4	15°	727,6		+ 0,8
	884,55	416,30	535,55	94,85	418,24	92,92	468,25	440,70	511,16	454,43	325,32	+ 13,78		727,9	+ 0,7		726,6		— 0,2
	788,20	357,10	523,10	93,10	355,20	91,06	431,10	430,00	446,26	430,55	264,14	+ 0,55		728,0	+ 1,0		727,0		+ 0,2
6	783,00	346,40	533,00	86,90	344,04	85,28	436,60	446,10	429,31	441,35	258,75	—	4,75	727,6	+ 0,1		726,5		— 0,3
	796,00	358,10	528,90	87,90	359,19	89,80	437,90	441,00	448,49	439,45	269,89	—	1,55	728,7	+ 0,4	16°	727,0		+ 0,2
	883,60	415,80	535,60	94,90	417,74	92,97	467,80	440,70	510,71	454,30	324,77	+ 13,60		728,0	+ 0,7		726,6		— 0,2
	784,75	354,20	522,55	92,55	352,30	90,51	430,55	430,00	442,81	430,27	261,79	+ 0,27		728,0	+ 1,0		726,9		+ 0,1

7	250	834,90	481,60	530,30	166,70	480,70	164,63	353,30	363,60	645,33	358,45	316,07	—	5,15	231322	726,7	+ 0,1	724,7	+ 0,4
		846,98	480,40	528,28	165,88	490,08	166,10	357,58	362,40	656,18	359,99	323,98	—	2,41	236222	726,7	+ 0,3	724,9	+ 0,6
		889,88	517,10	519,38	171,18	517,34	169,89	372,78	348,20	687,23	360,49	317,45	+ 12,30		247735	725,4	+ 0,6	723,9	— 0,4
		829,17	475,30	517,17	166,17	475,34	164,09	353,87	351,00	639,43	352,48	311,25	+ 1,43		225358	725,4	+ 0,7	724,0	— 0,3
8	"	837,53	483,80	532,23	168,73	482,90	166,68	353,73	363,50	649,58	358,62	316,22	—	4,88	232953	731,8	+ 0,1	729,4	+ 0,3
		860,26	492,20	530,86	167,96	492,88	168,18	358,06	362,90	661,06	360,48	324,70	—	2,42	238300	731,5	+ 0,3	729,3	+ 0,2
		889,75	516,48	520,68	172,48	516,80	171,25	373,27	348,20	688,05	360,73	345,55	+ 12,53		248206	730,9	+ 0,6	729,0	— 0,1
		829,90	476,00	518,80	167,80	476,04	165,72	353,90	351,00	641,76	352,45	310,32	+ 1,45		226189	730,3	+ 0,7	728,5	— 0,5
9	"	835,13	482,00	531,63	168,23	481,10	166,17	353,13	363,40	647,27	358,27	314,72	—	5,13	231905	731,7	+ 0,1	729,2	— 0,2
		849,81	491,90	530,84	168,04	492,58	168,26	357,94	362,80	660,84	360,37	324,32	—	2,43	238144	731,9	+ 0,3	729,6	+ 0,2
		887,16	514,80	520,65	172,65	515,21	171,36	372,36	348,00	680,57	360,18	343,85	+ 12,18		247288	731,4	+ 0,6	729,4	0,0
		828,80	475,00	519,00	168,00	475,04	165,92	353,80	351,00	640,96	352,40	309,12	+ 1,40		225885	732,1	+ 0,7	730,2	+ 0,8
10	"	833,70	480,00	530,60	166,90	479,10	164,84	353,70	363,70	643,94	358,70	314,26	—	5,00	230984	730,0	+ 0,1	727,7	+ 0,3
		818,19	490,40	529,59	167,09	491,08	167,31	357,70	362,50	658,39	360,15	323,77	—	2,35	237117	730,0	+ 0,3	727,9	+ 0,5
		883,66	511,60	518,99	171,09	512,01	169,80	372,06	347,90	681,81	359,98	342,21	+ 12,08		245444	729,3	+ 0,6	727,5	+ 0,1
		827,10	473,90	518,00	167,10	473,94	165,02	353,20	350,90	638,96	352,05	308,92	+ 1,15		224947	729,4	+ 0,7	727,7	+ 0,3
11	"	834,31	480,98	531,26	167,76	480,08	165,70	353,33	363,50	645,78	358,42	314,38	—	5,08	231463	731,1	+ 0,1	728,7	— 0,1
		850,65	492,90	530,75	167,95	493,58	168,17	357,75	362,80	661,75	360,27	325,41	—	2,53	238406	730,0	+ 0,3	727,9	— 0,7
		887,63	514,80	519,93	172,03	515,21	170,80	372,83	347,90	686,01	360,36	344,41	+ 12,46		247200	730,2	+ 0,6	728,5	— 0,1
		828,28	474,30	517,48	167,18	474,34	165,10	353,98	350,30	639,44	352,14	309,24	+ 1,84		225174	730,1	+ 0,7	728,4	— 0,2
12	"	825,04	471,80	529,34	165,74	470,76	163,67	353,24	363,60	634,48	358,42	307,09	—	5,18	227390	735,2	+ 0,1	733,2	+ 0,2
		838,70	480,40	527,60	165,10	481,15	165,12	358,30	362,50	646,27	360,40	316,03	—	2,10	232911	734,9	+ 0,3	733,1	+ 0,1
		870,95	499,25	516,34	168,84	500,02	167,56	371,70	347,50	667,58	359,60	332,46	+ 12,10		240061	734,2	+ 0,6	732,7	— 0,3
		816,60	463,20	515,30	164,70	463,16	162,66	353,40	350,60	625,82	352,00	300,50	+ 1,40		220289	734,4	+ 0,7	733,0	0,0

Beobachtungs-Tabelle II.

Ita. N.	Länge der Queck-silbersäule in mm	Abgeschl. Luft-quantum in mm	r	(v)	r_1	(v_1)	v	v_1	h	h_1	$v + v_1$	$\frac{h + h_1}{2}$	$v - v_1$	$\frac{h - h_1}{2}$	$\frac{(v + v_1) \cdot h + h_1}{2}$	B	ΔB	B_c	B_n	Diff.
1	200	100	333,50 335,90	138,10 137,20	276,90 278,90	80,30 79,50	136,76 135,00	78,38 77,58	195,40 198,70	196,60 199,40	215,14 212,58	196,00 199,05	58,38 57,42	-0,60 -0,35	42168 42314	721,7 736,6	+1,9 +2,1	723,6 738,7	742,7	-19,1 -4,0
2	"	"	333,30 335,30	137,50 136,90	276,80 278,50	80,30 79,50	136,16 134,70	78,38 77,58	195,50 198,40	196,50 199,00	214,54 212,28	196,00 198,70	57,78 57,12	-0,50 -0,30	42050 42180	727,2 738,1	+1,8 +2,1	729,0 740,2	743,1	-14,1 -2,9
3	"	"	332,80 335,10	137,20 136,40	276,50 278,60	80,10 79,10	135,86 134,20	78,18 77,18	195,60 198,70	196,40 199,50	214,04 211,38	196,00 199,10	57,68 57,02	-0,40 -0,40	41952 42085	726,9 737,7	+1,8 +2,2	728,7 739,9	744,6	-15,9 -4,7
4	"	"	333,60 335,95	137,95 137,20	276,75 278,80	80,35 79,55	136,61 135,00	78,43 77,63	195,65 198,75	196,40 199,25	215,04 212,63	196,02 199,00	58,18 57,37	-0,37 -0,25	42152 42342	724,1 737,3	+1,8 +2,2	725,9 739,5	743,9	-18,0 -4,4
5	"	"	332,35 334,60	136,95 135,90	276,15 278,15	79,95 78,95	135,61 133,70	78,03 77,03	195,40 198,70	196,20 199,20	213,64 210,78	195,80 198,95	57,58 56,67	-0,40 -0,25	41834 41924	726,1 739,6	+1,8 +2,2	727,9 741,8	745,5	-17,6 -3,7
6	"	"	333,90 335,95	138,20 137,00	276,95 278,80	80,50 79,50	136,86 134,80	78,58 77,58	195,70 198,95	196,45 199,30	215,44 212,38	196,07 199,12	58,28 57,22	-0,37 -0,17	42244 42288	724,5 738,9	+1,8 +2,2	726,3 741,1	744,0	-17,7 -2,9
7	100	50	162,85 164,90	58,60 59,00	148,40 150,10	44,00 44,10	56,84 57,34	42,54 42,74	104,25 105,90	104,40 106,00	99,38 100,08	104,32 105,95	14,30 14,60	-0,07 -0,05	10870 10603	725,1 726,2	+4,0 +4,5	729,1 730,7	742,4	-13,3 -11,7
8	"	"	162,90 164,90	58,90 59,00	148,30 150,10	44,00 44,10	57,14 57,34	42,54 42,74	104,00 105,90	104,30 106,00	99,68 100,08	104,15 105,95	14,60 14,60	-0,15 -0,05	10381 10603	711,0 726,2	+4,0 +4,5	715,0 730,7	741,7	-26,7 -11,7
9	"	"	163,20 165,40	59,05 59,35	148,60 150,70	44,15 44,15	57,29 57,69	42,69 42,79	104,15 106,05	104,45 106,55	99,98 100,48	104,30 106,30	14,60 14,90	-0,15 -0,25	10428 10631	714,1 716,0	+4,0 +4,4	718,1 720,4	742,4	-24,3 -22,0

Fig 1.

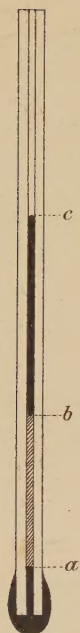


Fig 2.

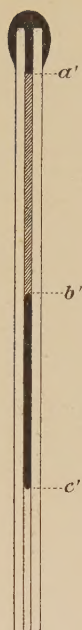


Fig 3.



Fig 4.

